

Cadmium in bodem en gras in het natuurgebied in en nabij de Malpiebeemden

Cadmium in bodem en gras in het natuurgebied in en nabij de Malpiebeemden

**Onderzoek naar de kwaliteit van veevoer in relatie tot gezondheidsrisico's
voor grazers**

P.F.A.M. Römken

R.P.J.J. Rietra

F.P. Sival

Alterra-rapport 1299

Alterra, Wageningen, 2006

REFERAAT

P.F.A.M. Römkens, R.P.J.J. Rietra, en F.P. Sival, 2006. *Cadmium in bodem en gras in het natuurgebied in en nabij de Malpiebeemden. Onderzoek naar de kwaliteit van veevoer in relatie tot gezondheidsrisico's voor grazers*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1299. 36 blz.; 3 fig.; 9 tab.; 9 ref.

In het Dommeldal nabij en in de Malpiebeemden komen sterk verhoogde gehalten aan cadmium, zink en in mindere mate lood in de bodem voor. Dit komt door zowel aanvoer via het riviersysteem (verontreinigd sediment) als via kwel uit de omliggende hoger gelegen delen. Het gebied is door Natuurmonumenten aangewezen als gebied voor grote grazers. Door de hoge gehalten in de bodem is het niet duidelijk of de kwaliteit van het gras wel voldoet aan wettelijke normen voor veevoer.

Onderzoek aan bodem en gras toont aan dat de cadmiumgehalten in de bodem extreem hoog zijn. Waarden tot meer dan 100 mg kg⁻¹ in de bodem zijn geen uitzondering. De aangetroffen waarden behoren daarmee, voor zover bekend, tot de hoogste in heel Nederland. Mede als gevolg van de extreem hoge gehalten in de bodem liggen in veel gevallen ook de cadmiumgehalten van het gras boven de daarvoor geldende norm van 1.1 mg Cd kg⁻¹ ds. Risico's voor de gezondheid van dieren zijn daarmee niet uit te sluiten. De berekende blootstelling van runderen toont aan dat de acceptabele dagelijkse blootstelling in ruime mate overschreden wordt. Daarmee is ook de kans op effecten op de diergezondheid aanwezig.

Gezien de hoge gehalten in de bodem, het gras en de daaruit volgende onacceptabele blootstelling moet begrazing en verkoop van het maaisel voor veevoer afgeraden worden. De gehalten in de bodem (en het gras) in de hoger gelegen delen naast het rivierdal komen overeen met eerder gerapporteerde waarden in de Kempen. De bodem- en graskwaliteit is in deze gebieden met beheersmaatregelen (bekalken) te reguleren zodat er geen risico's voor de diergezondheid bestaan.

Trefwoorden: Cadmium, bodem, Kempen, Malpiebeemden, veevoer, begrazing,, natuur, diergezondheid, risico beoordeling

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1299. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2006 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Selectie van locatie, bemonstering en analyses	15
3 Resultaten	19
3.1 Metaalgehalten in Bodem en Gewas: fase 1 en 2 onderzoek	19
3.1.1 Resultaten Fase 1 deelonderzoek	19
3.1.2 Resultaten Fase 2 deelonderzoek	20
3.2 Beschikbaarheid van cadmium in de bodem	22
3.3 Verband tussen bodem- en gewaskwaliteit in de onderzochte percelen	24
3.4 Berekening van de blootstelling voor runderen als gevolg van inname van grond, gewas en water	26
4 Discussie en Conclusies	29
Literatuur	31
 <i>Bijlage</i>	
1 Overzicht van Analyse resultaten van de eerste en tweede bemonstering in de Malpiebeemden	33

Woord vooraf

In een verkennend onderzoek naar de kwaliteit van bodem en gras in overstroomde beekdalgraslanden langs de Dommel nabij en in de Malpiebeemden die als natuurgebied beheerd worden (Runhaar en Jansen, 2004) is geconstateerd dat de gehalten aan metalen (waaronder cadmium) sterk verhoogd zijn ten opzichte van bodems buiten dit rivierdal. Aanvoer via verontreinigd sediment en mogelijk kwel hebben sterk bijgedragen aan deze lokaal sterk verhoogde gehalten.

Vaak zijn deze gebieden aangewezen als beheersgebied en in gebruik als begrazingsgebied en/of hooiland. Het gras uit deze dalen wordt daarmee als veevoer gebruikt. De gebieden worden gedurende een deel van het jaar begraasd.

De vraag rijst dan ook of de kwaliteit van de bodem en de vegetatie (gras en kruiden) niet zodanig verontreinigd is met cadmium dat dit niet geschikt is als veevoer. Langdurige blootstelling aan veevoer van slechte kwaliteit (lees: hoge cadmiumgehalten) leidt op termijn tot schade aan nieren en lever van grote grazers. Ook bij de toekomstige inrichting van het gebied zou wellicht rekening gehouden moeten worden met de mate van verontreiniging. Het voorkomen van grazend vee en andere grotere organismen (reeën) die er foerageren, leidt mogelijk tot effecten in het ecosysteem.

Om na te gaan wat de actuele kwaliteit van bodem en gras in de Malpiebeemden is, en of er wellicht risico's voor grazend vee zijn, is in opdracht van Actief Bodembeheer de Kempen een onderzoek uitgevoerd naar de bodemsamenstelling en graskwaliteit op verschillende plekken in overstromingsgraslanden langs de Dommel nabij en in de Malpiebeemden.

In dit rapport staan de resultaten van twee deelonderzoeken, een verkennend onderzoek en een aanvullend onderzoek. De reden hiervoor is dat de resultaten van het verkennend onderzoek niet eenduidig waren. Bovendien werden zo hoge gehalten aan cadmium in de bodem aangetroffen dat op basis van de beperkte dataset geen vergaande adviezen voor maatregelen gegeven konden worden. Het was immers niet uit te sluiten dat dit zeer lokale afwijkingen waren. Het aanvullende onderzoek is daarom uitgevoerd om na te gaan of dergelijke sterk verhoogde waarden op meer plaatsen voorkomen en of de gehalten in het gewas daarmee ook verhoogd waren. Tevens is in het aanvullend onderzoek gekeken of de extreem verhoogde gehalten aan cadmium alleen in de overstroomde bodems voorkomen of ook in de iets hoger gelegen percelen die niet of nauwelijks overstromen maar wel beïnvloed worden door kwel.

De uitkomsten zullen gebruikt worden om een advies voor het beheer en mogelijk gebruik –of juist niet- van het gebied voor grazers op te stellen.

Samenvatting

In de zomer en het najaar van 2005 is in twee fasen onderzoek gedaan aan de bodem en graskwaliteit in graslanden langs de Dommel nabij en in de Malpiebeemden en de hoger gelegen graslanden. Centrale vraag in het onderzoek was:

1. In kaart brengen van de kwaliteit van bodem en gras in graslanden langs de Dommel; nabij en in de Malpiebeemden
2. Vaststellen of de kwaliteit van het gras voldoet aan eisen voor veevoer;
3. Vaststellen of er een relatie bestaat tussen de kwaliteit van de bodem en het gras

Het onderzoek is uitgevoerd in twee fasen. In het eerste onderzoek is vooral gekeken naar de gevolgen van overstroming op de aanvoer van zware metalen. Locaties met het hoogste percentage klei zijn gekozen in 6 graslanden verspreid langs de Dommel. De variatie tussen deze percelen was groot; de gemeten cadmiumgehalten in de bodem varieerden van 5 tot 123 mg kg⁻¹. Ook de gehalten in het gras varieerden sterk, maar lagen in dit onderzoek allemaal boven de geldende norm van 1.1 mg kg⁻¹ (metingen tussen 2.2 en 10.9 mg kg⁻¹).

Helaas kon op basis van deze gegevens geen relatie vastgesteld worden tussen de gehalten in het gras en die in de bodem voor cadmium. Dit is afwijkend ten opzichte van eerder onderzoek waarin een dergelijk verband wel is aangetoond. Ook kon in dit onderzoek geen directe link gelegd worden tussen de verschillen in hoogte en de gehalten in het gewas. De verwachting was dat de kwaliteit van het gras in de laagste delen slechter was dan in de hogere delen vanwege de afzetting van sterk verontreinigd sediment in de lage delen.

In het aanvullend onderzoek zijn daarom de volgende punten onderzocht:

1. Bestaat er een relatie tussen de hoogte in het terrein (waarbij onderscheid gemaakt is tussen lage en minder lage delen in de vallei en de hoger gelegen delen rondom) en de kwaliteit van bodem en gras?
2. Bestaat er een relatie tussen bodem en gras in de nieuwe serie monsters of wijkt het gedrag van cadmium in deze overstroomde graslanden met aanvoer van sediment erg af van gronden uit depositiegebieden? Is de aanvoer een gevolg van aanvoer door sediment, kwel of via de lucht?
3. Wat is de blootstelling van runderen en hoe verhoudt die zich tot de maximaal aanvaardbare inname (ADI, Acceptable Daily Intake)?

De resultaten van de bodemanalyses uit de vervolgstudie tonen aan dat de gevonden gehalten uit de eerste studie in de bodem representatief waren. Ook in de tweede bemonstering zijn cadmiumgehalten tussen 8.1 en 94 mg kg⁻¹ aangetroffen. Daarentegen liggen de gehalten in de omliggende hogere percelen op voor de Kempen normale waarden tussen 0.2 en 2.0 mg kg⁻¹. Ook de grasgehalten in de lager

gelegen overstroomde graslanden liggen zelf boven de gewasnorm (tussen 0.8 en 26 mg kg⁻¹) wat bevestigt dat het gras uit dit gebied niet geschikt is als veevoer.

In tegenstelling tot de eerste bemonstering is er in de vervolgstudie wel een verband tussen cadmium in de bodem en dat in het gras aangetoond. Met behulp van klei, organische stof, pH en het gehalte in de bodem kan 77% van de variatie in het grasgehaltes verklaard worden. Deze relatie kan gebruikt worden om voor andere beekdalgraslanden in te schatten of de kwaliteit van het gras voldoet aan normen voor veevoer.

Om een indruk te krijgen van de blootstelling van grazers als gevolg van inname van voer, drinkwater en grond is met het model GGRAS (Ma et al., 2001) de totale inname berekend en de verhouding tussen actuele inname en ADI bepaald. De blootstelling in de graslanden in het beekdal zelf ligt in 4 van de 6 locaties uit de tweede bemonstering ruim boven de ADI. In de hoger gelegen graslanden daarentegen ligt de blootstelling in alle gevallen ruim onder de ADI. Uit de analyse blijkt dat de inname van gras verreweg de belangrijkste blootstellingsroute is, zowel in de lage als hoge delen. Gemiddeld draagt de inname van gras tussen 80 a 90% bij aan de totale inname. De opname via water is veelal minder dan 5%. Uiteraard is de verdeling van de verschillende blootstellingsroutes in individuele punten veel extremer. De maximale inname via grond loopt op tot 35% terwijl in sommige velden de inname van gras 97% van de totale inname bedraagt.

De conclusie van het onderzoek is daarom dat de bodem- en graskwaliteit in de graslanden langs de Dommel in de Malpiebeemden ongeschikt is om dienst te doen als permanent hooiland of gebruikt te worden voor begrazing. Daarbij dient wel opgemerkt te worden dat in deze voorlopige berekening een soort worst case scenario is toegepast. Vee eet namelijk niet alleen gras van deze extreem vervuilde locaties, maar krijgt ook voer van elders, ruwvoer dan wel ander voer. Daardoor zal de blootstelling zeker lager worden dan hier geschat. Feit blijft echter dat de gehalten in het ruwvoer zoals hier gemeten (ruim) boven de veevoedernorm liggen. Het gras mag als zodanig dan ook niet gebruikt worden.

1 Inleiding

In 2004 zijn in een onderzoek naar de effecten van overstromingen in graslanden hoge cadmiumgehalten in de bodem aangetroffen langs de rivier de Dommel in het natuurgebied de Malpiebeemden in gemeente Valkenswaard (Runhaar en Jansen, 2004). Op locaties met hoge cadmiumgehalten zijn ook hoge lutum- en organische stof gehalten aangetroffen. Mogelijk oorzaak kan sedimentatie van verontreinigd slib door overstroming tijdens perioden van hoge waterstanden van de Dommel zijn. Daarnaast draagt mogelijk kwel vanuit de omliggende hoger gelegen delen bij aan de waargenomen verhoogde gehalten in de bodem. Verder is bekend uit een uitgebreide bodem-gewasstudie in de Kempen dat ook depositie via de lucht voor hoge gehalten kan zorgen (Rietra e.a., 2004)

De percelen zijn eigendom van Staatsbosbeheer en worden door Natuurmonumenten beheerd door middel van begrazing met vee van boeren uit de omgeving. Daarnaast wordt het maaisel verkocht en als veevoer gebruikt.

Om te verifiëren of de hoge cadmiumgehalten in de bodem leiden tot hoge cadmiumgehalten in het gras zijn twee onderzoeken uitgevoerd.

In eerste instantie is in een zestal graslanden verspreid langs de Dommel de bodem en het gras onderzocht. Als leidraad voor de kwaliteit van het gras is daarbij de veevoedernorm in gras voor cadmium van 1 mg.kg^{-1} (op basis van 12% vocht) en voor zink van 150 mg.kg^{-1} gehanteerd. Verderop wordt nader ingegaan op de relevantie van deze normen.

Eerder uitgevoerd onderzoek naar de kwaliteit van bodem en landbouwgewassen in het depositiegebied van de zinkfabriek te Budel-Dorplein in de gemeente Cranendonck (Rietra et al., 2004) heeft geleid tot inzicht in de combinatie van cadmiumgehalten en zuurgraad in de bodem waarbij normen in gras worden overschreden. Daaruit bleek dat in bodems met meer dan 2 mg kg^{-1} cadmium bij een pH van 5.5 de norm niet meer gerealiseerd kon worden. In het eerder uitgevoerde onderzoek (Runhaar en Jansen, 2004) bleek dat de gehalten aan cadmium in het beekdal vele malen hoger waren dan 2 mg kg^{-1} . Dit geeft daarmee aanleiding te veronderstellen dat de kwaliteit van het gras niet aan de gestelde norm voldoet en daarmee niet als veevoer gebruikt mag worden.

Omdat in onderzoek van Rietra et al. (2004) vastgesteld is dat er een verband bestaat tussen het gehalte in de bodem en bodemparameters (klei, organische stof en pH) enerzijds en het gehalte in het gewas anderzijds, is de verwachting dat een dergelijk verband ook in de graslanden langs de Dommel in de Malpiebeemden bestaat.

Wanneer een dergelijk verband bestaat is het namelijk mogelijk om voor niet onderzochte locaties (wat betreft gras) een uitspraak te doen over de te verwachten kwaliteit. Omdat de aard van de bodem én de aangetroffen gehalten in de

Malpiebeemden sterk afwijken van die in het eerdere onderzoek (Rietra et al., 2004) kon de eerder gevonden relatie niet op deze gronden toegepast worden. Voorwaarde voor toepassing van dergelijke modellen is namelijk dat de bodemsamenstelling en het bereik van cadmiumgehalten in de bodem, in die gebieden waarvoor het model gebruikt wordt, binnen het bereik moeten vallen van bodemeigenschappen van de dataset waarop het model is afgeleid. Daarom is het nodig om voor de Malpiebeemden opnieuw onderzoek aan bodem én gras te doen om een dergelijk verband af te leiden

Een ander aspect betreft de variatie in hoogte in het terrein. Binnen het dal van de Dommel zijn duidelijk lagere en hogere delen aanwijsbaar. De hogere delen zijn vaak (resten van) stroomruggen of dekzandformaties. Door de kleine hoogteverschillen worden deze ruggen net iets minder vaak overstroomd. Het is daarom denkbaar dat de gehalten aan cadmium varieert met deze kleine hoogteverschillen. Om inzicht te krijgen in de effecten van de verschillen in de hoogte is tijdens de tweede bemonstering onderscheid gemaakt tussen de 'lage' delen en de 'hoge' delen waarbij beide in het beekdal zelf liggen. Om na te gaan wat het effect van het uitblijven van overstroming op de bodemkwaliteit is, zijn tenslotte ook enkele percelen bemonsterd die niet overstroomd zijn.

Doel van het gecombineerde eerste en tweede (nadere) onderzoek was:

1. In kaart brengen van de kwaliteit van bodem en gewas in het dal van de Dommel in en nabij de Malpiebeemden;
2. Vaststellen of de kwaliteit van het gras voldoet aan eisen voor veevoer;
3. Vaststellen of er een relatie bestaat tussen de kwaliteit van de bodem en het gras;
4. Bepalen of er een relatie bestaat tussen de hoogte in het terrein (waarbij onderscheid gemaakt is tussen lage en minder lage delen in de vallei en de hoger gelegen percelen rondom) en de kwaliteit van bodem en gras
5. Berekenen van de blootstelling van runderen en nagaan hoe deze zich verhoudt tot de maximaal aanvaardbare inname (ADI, acceptable daily intake).

Toetsing aan relevante normen in relatie tot diergezondheid en producten voor menselijke consumptie

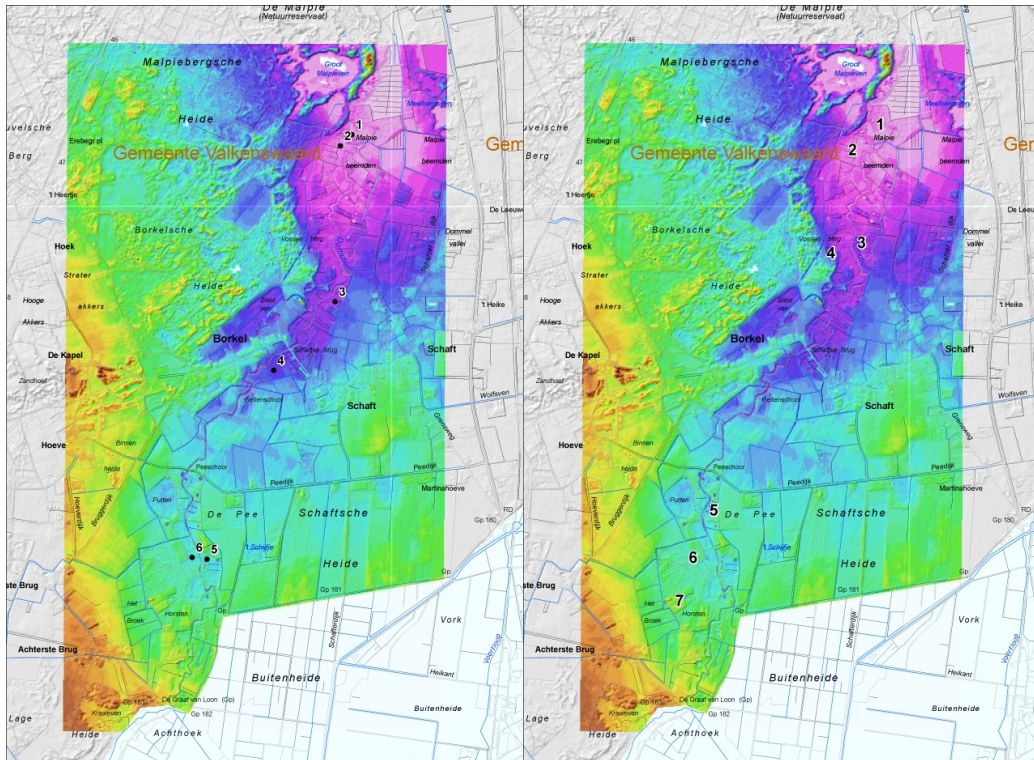
Risico's van bodemverontreiniging in natuurgebieden hebben in veel gevallen vooral betrekking op blootstelling van (bodem)organismen. Voor hogere organismen, onder andere grazend vee geldt dat opname via grond en gras vooral leidt tot accumulatie van cadmium in de nieren en de lever. Uiteindelijk leidt chronische blootstelling tot verminderd functioneren van deze organen en daarmee van het dier zelf. Effecten op koeien zijn onder andere verminderde melkproductie en voedselopname (Stoop en Rennen, 1991). Om dieren te beschermen tegen ongewenste hoge blootstelling zijn daarom waarden voor de maximale dagelijkse inname afgeleid. Deze zijn gebaseerd op studies waarbij dieren gevoerd zijn met voedsel dat oplopende hoeveelheden Cd bevatte (o.a. Rosenberger et al., 1970, Stoop en Rennen, 1991; Mennes en Winkler, 1992). Uiteindelijk is op basis van deze studies een ADI (Acceptable Daily Intake) van 0.09 mg Cd/kg lichaamsgewicht/dag afgeleid (Ma et al., 2001).

Naast effecten op het welzijn van de dieren zijn ook EU-brede diervoedernormen in werking. Deze beschermen niet zozeer het dier zelf maar de kwaliteit van enkele organen die voor menselijke consumptie bestemd zijn. Vooral de nieren en lever zijn organen waarin cadmium bij voorkeur opgeslagen wordt. Door eisen te stellen aan het voer wordt voorkómen dat de gehalten in de nier boven de voor mensen geldende norm voor cadmium uitkomt. Momenteel bedraagt de norm voor cadmium in veevoer 1.1 mg kg^{-1} op basis van het droge stof gehalten (officieel 1.0 herleid tot 12% vocht wat ongeveer overeenkomt met 1.1 mg kg^{-1} op droge stof basis).

Deze twee normen (kwaliteit veevoer en blootstelling) gelden daarom als uitgangspunt voor de beoordeling van het veevoer (gras) dat in de Malpiebeemden groeit.

2 Selectie van locatie, bemonstering en analyses

In figuur 2.1 zijn de monsterlocaties van beide bemonsteringen weergegeven



Figuur 2.1. Locaties van bemonstering tijdens eerste bemonstering (links) en tweede (rechts). De kleuren geven de hoogte in het terrein aan (oranje/bruin = hoog, lila = laag), voor een legenda zie bijlage 1

Tijdens de eerste bemonstering zijn in totaal 6 verschillende laag gelegen graslanden onderzocht (locatie: I 1, I 2, I 3, I 4, I 5, I 6). De graslanden verschillen in grassoortensamenstelling, beheer en leeftijd. Voor de bemonstering is per perceel een locatie gekozen met op het oog de hoogste lutum- en organisch stof gehalten. De hypothese was dat sedimentatie de reden was van verhoogde gehalten.

Om uitspraken te kunnen doen over de mogelijke effecten van hoogteverschillen zijn tijdens de tweede bemonstering 3 specifieke hoogteklassen onderscheiden (7 locaties in totaal):

1. laag gelegen percelen in het dal (locatie: II 1, II 2 en II 3)
2. iets hoger gelegen delen in de laag gelegen percelen in het dal (locatie: II 1 hoog, II 2 hoog en II 3 hoog)
3. percelen aan de rand van het dal (locatie II 4, II 5, II 6 en II 7), deze percelen zijn waarschijnlijk niet overstroomd.

In de percelen II 1, II 2 en II 3 is telkens een “laag” en een “hoog” locatie onderscheiden en apart bemonsterd. Elke locatie, zowel in de eerste als in de tweede fase is in duplo bemonsterd. Het vermoeden bestond dat de variatie op korte afstand groot is.

In het eerste onderzoek (I) is elke locatie 20 m bij 20 m groot. De locatie is opgedeeld in een raster met 16 plekken. Per plek wordt een grondmonster gestoken en gras bemonsterd. Er zijn per locatie twee grondmonsters en twee gewasmonsters (a en b) samengesteld uit een mengsel van de 8 plekken. De duplo's worden gemaakt door om-en-om de 16 plekken te bemonsteren.

In het tweede onderzoek (II) is van elke plek de vegetatie van 1 m² verzameld (mengsel van gras en kruiden). Alleen in grasland 2 was de dominante vegetatie Pitrus (*Juncus effesus*). Van elke plek is ook een bodemmonster genomen bestaande uit minimaal 10 stekken van de 0 – 15 cm laag. Het bemonsterde gras- en bodemmateriaal is gedroogd bij 40 graden en voor analyse contaminatie vrij gemalen voorafgaand aan de analyse. De analyses zijn deels uitgevoerd op het Centraal Laboratorium van de Sectie Bodemkwaliteit van de Universiteit Wageningen, het BLGG en bij Alcontrol. In tabel 2.1 is aangegeven welke analyses, en door welk laboratorium zijn uitgevoerd in fase I en II van het onderzoek

Tabel 2.1. Overzicht van uitgevoerde analyses aan bodem en gewas

Analyse	Methode	Lab	Fase I	Fase II
Totaal metaal analyse bodem	Aqua Regia	ALcontrol	-	+
Reactief metaal	0.43 N HNO ₃	CL	+	-
Beschikbaar metaal	0.01 M CaCl ₂	CL	+	-
Organische stof	Gloeiverlies ¹	CL	+	+
Textuur	% < 2 µm	Blgg	+	-
pH	0.01 M CaCl ₂	CL	+	+
Metaal analyse Gewas	Aqua Regia	CL/ALcontrol	+	+

¹ helaas is het gloeiverlies in de twee bemonstering bij verschillende temperaturen bepaald, namelijk bij 850 graden in fase 1 en bij 550 graden in fase 2. Mede daardoor zijn de waarnemingen niet vergelijkbaar

In het tweede fase onderzoek (II) lag de nadruk niet zozeer op het meten van de beschikbaarheid van de metalen (in de eerste fase wel). Daarom is in de tweede fase alleen het totaalgehalte bepaald en niet de aanvullende metingen zoals die in verdund salpeterzuur en calciumchloride. Verschillen in textuur bleken in de eerste meting ook niet of nauwelijks bij te dragen aan de waargenomen verschillen in de gehalten aan metalen. In tabel 2.2 staan de coördinaten van de bemonsterde locaties (Rijksdriehoeksmeting) evenals aanvullende informatie indien voorhanden.

Tabel 2.2 Beschrijving van de locaties.

bemonst ering	locatie	Ligging	gewas	coördinaten		beheer	Vee aanwezig	SBB-code
				X	Y			
I	1	Laag	gras	159724	369256	maaien		5c
I	2	Laag	gras	159643	369176	begrazing met	Koeien	11c1
I	3	Laag	gras	159605	368080	maaien		4b
I	4	Laag	gras	159173	367597	maaien		3e
I	5	Laag	gras	158705	366269	begrazing met	Koeien	1b1
I	6	Laag	gras	158600	366282	begrazing met	Koeien	1a1
II	1	Laag						
II	2	Laag						
II	3	Laag						
II	4	aan de rand van het dal						
II	5	aan de rand van het dal						
II	6	aan de rand van het dal						
II	7	aan de rand van het dal						

3 Resultaten

3.1 Metaalgehalten in Bodem en Gewas: fase 1 en 2 onderzoek

3.1.1 Resultaten Fase 1 deelonderzoek

De cadmiumgehalten in de bodem en het gras zijn in alle zes graslanden extreem hoog en liggen (voor gras) ver boven de norm voor veevoeder (zie tabel 3.1; norm = 1.1 mg kg⁻¹). Daarnaast zijn ook de gehalten aan zink in het gras hoog en liggen in enkele gevallen eveneens boven de veevoedernorm (zie tabel 1, gegevens voor alle veldjes incl. duplo bemonsteringen). Voor de bodem geldt dat de interventiewaarde in (zeer) ruime mate overschreden wordt in een groot aantal monsters (voor cadmium, voor zink is dit veel minder het geval)

In tabel 3.1 staan tevens de gegevens over pH (in CaCl₂), textuur en organische stof. De gegevens voor de overige onderzochte metalen staan in bijlage 1 aan het eind van dit rapport.

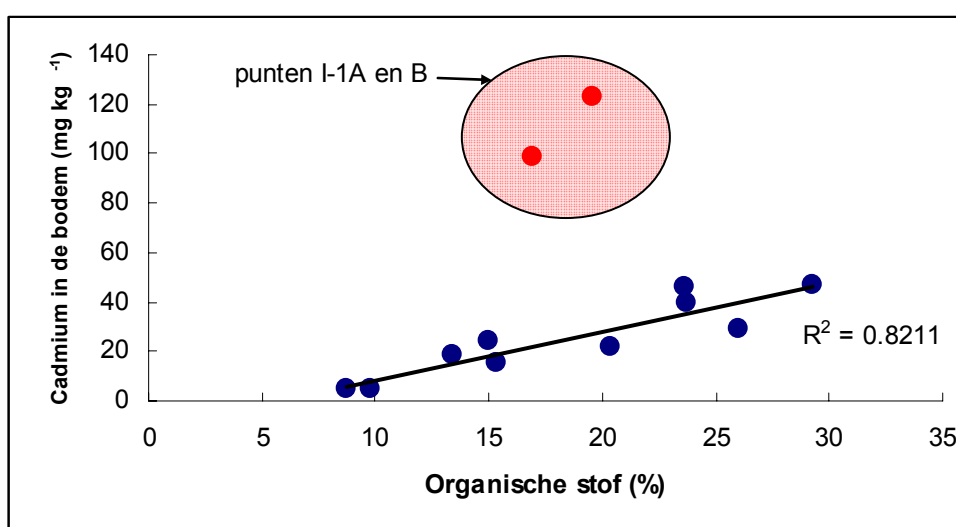
Duidelijk is dat de bodems uit het onderzoek sterk afwijken van de eerder onderzochte bodems (Rietra et al., 2004, 2005). De bodems in de Malpiebeemden bevatten (veel) meer zware metalen, organische stof, en klei dan de eerder onderzochte landbouwpercelen. De verschillen in de zuurgraad zijn minder groot al is de gemiddelde pH in de Malpiebeemden lager dan in de landbouwgronden.

Tabel 3.1 Analysegegevens bodem en gewas Malpiebeemden fase 1 onderzoek

onderzoek	locatie	duplo	org.stof	lutum	pH CaCl ₂	Cadmium (mg kg ⁻¹)		Zink (mg kg ⁻¹)	
			%	%		Bodem ¹	Gewas	Bodem ¹	Gewas
I	1	A	17	13	5.0	99	3.0	1337	359
I	1	B	20	7	5.0	123	2.2	1992	297
I	2	A	29	15	4.5	47	6.7	863	266
I	2	B	24	6	4.5	46	10.9	671	255
I	3	A	15	13	4.6	15	4.9	297	168
I	3	B	20	8	4.6	22	3.7	360	156
I	4	A	10	12	4.9	5	5.7	115	128
I	4	B	9	10	4.9	5	4.3	115	129
I	5	A	13	7	4.3	19	4.4	284	242
I	5	B	15	9	4.3	24	3.4	336	190
I	6	A	26	7	4.7	29	3.4	498	214
I	6	B	24	13	4.6	40	2.6	594	231
Mediaan			18	9	4.6	27	4.0	429	223

¹ metingen in 0.43 N HNO₃ Scheef gedrukte waarden geven aan dat het gewasgehalte boven de veevoedernorm (gewas) of de interventiewaarde (bodem) ligt

Uit de data in tabel 3.1 blijkt dat de heterogeniteit van de onderzochte plekken groot kan zijn, maar sterk verschilt tussen plekken. Dat geldt zowel voor de bodemeigenschappen die per plek sterk verschillen (vooral textuur) als ook voor de metaalgehalten. Sommige plekken vertonen nauwelijks variatie in het cadmiumgehalte (plek I 4) terwijl dat op andere plekken sterk verschilt (plek I 6). De verschillen in het metaalgehalte zijn echter niet eenduidig te koppelen aan verschillen in textuur (lutum). Wel is er een verband te zien tussen organische stof en het metaalgehalte. Het cadmiumgehalte neemt toe bij hogere organische stof gehalten. De metingen op locatie I 1 (extreem hoge cadmium gehalten) wijken echter dermate af van de algemene trend dat het verband niet significant is (wanneer alle waarnemingen meegenomen worden). Zonder deze twee waarnemingen is het cadmium gehalte in de bodem sterk gerelateerd aan het organische stof gehalte ($R^2 = 0.82$) zoals is te zien in figuur 3.1



Figuur 3.1 Relatie tussen organische stof en het cadmiumgehalte in de bodem (fase 1 bemonstering)

3.1.2 Resultaten Fase 2 deelonderzoek

In fase II zijn opnieuw 7 locaties onderzocht. De aangetroffen metaalgehalten komen overeen met de in fase 1 gemeten waarden (zie tabel 3.2).

In bijlage 1 zijn alle resultaten van bodem en gras weergegeven. In tabel 3.2 en 3.3 staan de mediaanwaarden van de gehalten in de bodem (tabel 3.2) en in het gras (tabel 3.3). Daarbij zijn de waarden van alle metingen in locaties met dezelfde hoogteligging samengenomen (laag gelegen percelen, hoge plekken in de laag gelegen percelen, aan de rand van het dal gelegen percelen). Ter vergelijking zijn ook de waarden uit het eerder uitgevoerde onderzoek opgenomen. In bijlage 1 staat de volledige lijst met waarnemingen uit zowel fase I als fase I onderzoek.

Tabel 3.2. Overzicht van mediaanwaarden van metaalgehalten in de bodem

Ligging (locaties)	Bodemeigenschappen			Metaalgehalte bodem (mg kg ⁻¹)		
	Org. stof	lutum	pH	Cd	Pb	Zn
	%	% < 2 μ	CaCl ₂	AR ²	AR	AR
laag gelegen percelen uit fase I (I 1 t/m I 6)	18 ¹	9	4.6	26.5	194	429
laag gelegen percelen uit fase II (II 1,II 2,II 3)	9	8	5.7	21.0	93	380
hoge plekken in laag gelegen percelen uit fase II (II 1 hoog, II 2 hoog, II 3 hoog)	6	4	6.2	20.5	135	395
aan de rand van het dal gelegen percelen uit fase II (II 4,II 5, II 6, II 7)	6	3	5.1	1.1	30	56

¹ deze waarde is niet direct vergelijkbaar met de waarden in het fase 2 onderzoek vanwege een andere methode. De verschillen tussen de bemonsteringen zijn dermate groot dat het vermoeden bestaat dat de metingen in fase 1 niet correct zijn wat betreft organische stof

² in fase 1 is het gehalte gemeten in 0.43 N HNO₃. Voor cadmium in sterk verontreinigde gronden is het verschil tussen 0.43 N HNO₃ en Aqua Regia echter minder dan 10% (AR > 0.43 N HNO₃)

Tabel 3.3 Overzicht van mediaanwaarden van metaalgehalten in het gewas

	Gras Gegevens ¹		
	Cd	Zn	Pb
	mg kg ⁻¹ ds	mg kg ⁻¹ ds	mg kg ⁻¹ ds
laag gelegen percelen uit fase I (I 1 t/m I 6)	4	223	1.1
laag gelegen percelen uit fase II (II 1,II 2,II 3)	19.5	255	< 13
hoge plekken in laag gelegen percelen uit fase II (II 1 hoog, II 2 hoog, II 3 hoog)	7.4	515	< 13
aan de rand van het dal gelegen percelen uit fase II (II 4,II 5, II 6, II 7)	0.8	180	< 13

¹ hierbij is geen onderscheid gemaakt tussen gras en pitrus, de verschillen tussen beide zijn niet significant

Enkele belangrijke conclusies die uit de data in tabel 3.2, 3.3 en bijlage 1 volgen zijn:

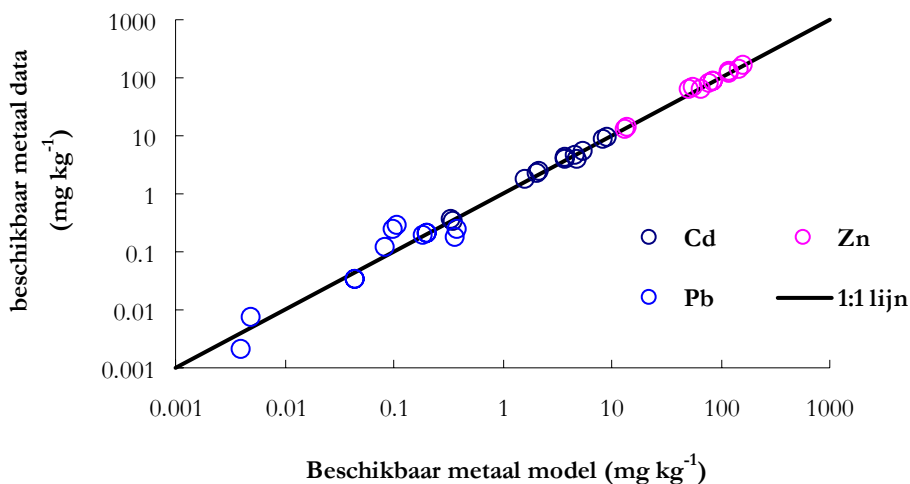
1. De gehalten in het gras zijn net als in fase I onderzoek extreem hoog. In het aanvullende onderzoek zijn de gemeten cadmiumgehalten in het gras (alle locaties in de laag gelegen percelen) zelfs significant hoger dan in het eerste onderzoek. Daarmee wordt in ieder geval bevestigd dat de kwaliteit van het gras (en het Pitrus) onvoldoende is om als veevoer te dienen.
2. Binnen de laag gelegen percelen hebben de lage locaties significant hogere cadmiumgehalten in de gewasmonsters dan de hogere plekken. De gewasmonsters van de laag gelegen percelen hebben significant hogere cadmiumgehalten dan gewasmonsters uit de percelen aan de rand van het dal.
3. De variatie in de bodemgehalten (Cd, Zn, Pb) binnen een bepaalde 'hoogte-klasse' is erg groot. Door deze grote variatie is er geen statistisch significant verschil in het cadmium gehalte tussen de monsters uit het lage traject en het hoge traject. Uiteraard zijn de verschillen tussen de monsters uit het rivierdal (laag/hog) en die uit de omliggende terreinen (heel hoog) wel significant

4. Ook de variatie tussen twee monsters van dezelfde plek is in sommige gevallen erg groot. Op locatie II-2 zijn de verschillen zowel op de lage als de hoge plek groter dan op de andere locaties. De verschillen in de percelen buiten het overstromingsbereik ("Hoog") zijn meestal klein. Dat is conform de verwachting dat de verontreiniging alleen via de lucht is aangevoerd en daarom niet zo heterogeen is als in het rivierdal waar de verschillen in verontreiniging door sedimentatie zijn versterkt.
5. Er bestaat een opvallend verschil in het organische stof gehalte tussen de monsters uit het eerste onderzoek en die van het aanvullend onderzoek. Dit is gedeeltelijk terug te voeren op een verschil in analyse methode: in het eerste onderzoek (Sival, persoonlijke mededeling) is het organische stof gehalte bepaald bij een gloeitemperatuur van 900 graden en zijn er relatief kleine monsters gebruikt (3 gram). Uiteraard is er altijd sprake van variatie tussen monsterplekken, maar de hier aangetroffen variatie is te groot en niet alleen het gevolg van variabiliteit tussen monsterplekken.
6. De gehalten in bodem en gewas in de percelen aan de rand van het dal komen goed overeen met de eerdere metingen in reguliere landbouwpercelen in de Kempen (zowel in bodem als in gewas, Rietra et al., 2004; 2005). Toch wordt ook in een enkel van deze percelen de gewasnorm voor cadmium overschreden. Deze overschrijding is echter gering en vormt geen aanleiding om specifieke maatregelen te nemen. Illustratief is wel dat in de percelen met een pH lager dan 5 en verhoogde cadmium gehalten (locatie II 6) de norm wel wordt overschreden terwijl in percelen op locatie 7 met dezelfde cadmium gehalten maar een hogere pH de norm niet wordt overschreden. Dit bevestigt de conclusies uit het eerdere onderzoek dat een pH van 5 a 5.5 of hoger voor gronden met meer dan 0.5 mg kg⁻¹ cadmium gewenst is om de productnorm voor cadmium te realiseren (Rietra et al., 2004).
7. Er bestaat een duidelijk (significant) verschil in de verhouding zink: cadmium in de monsters uit het beekdal ten opzichte van die uit de omliggende percelen ("Hoog"). Normaal (eerder onderzoek, Rietra et al., 2004, 2005a) gesproken ligt de verhouding zink:cadmium rond 50 (gemiddelde uit de "Hoog" percelen is 46.3), maar in het beekdal is dit 18.0. Dat betekent dat de monsters uit het beekdal relatief verrijkt zijn met cadmium. Op dit moment is het onduidelijk of dat komt doordat deze gronden specifiek vervuild zijn met cadmiumrijk slib of dat er wellicht via kwel specifiek cadmium aangevoerd wordt. Feit is wel dat deze verhouding dus gebruikt kan worden om na te gaan of een bodem alleen vervuild is via atmosferische depositie (dan moet de zink:cadmium verhouding dus ongeveer 50 bedragen) of dat er ook vervuild slib (of kwel) is afgezet (lagere verhouding).

3.2 Beschikbaarheid van cadmium in de bodem

In de eerste fase is via een CaCl₂ extract de actuele beschikbaarheid van cadmium en andere metalen bepaald. De hoeveelheid metalen die in dit extract gemeten wordt, komt overeen met de hoeveelheid die op een bepaald moment in de bodem beschikbaar is voor opname door gewassen en of uitspoeling.

Ook in deze gronden blijkt de beschikbaarheid van zowel cadmium, zink en lood sterk gekoppeld aan de variatie in pH, organische stof en het reactief metaalgehalte (0.43 N HNO₃) zoals blijkt uit figuur 3.2. Hierin zijn de gemeten waarden uitgezet tegen de berekende gehalten van de beschikbare fractie. Zelf voor lood, dat normaal een sterk niet verklaarde variatie kent kan in de gronden van de Malpiebeemden een zeer goed regressiemodel afgeleid worden. In tabel 3.4 staan de coëfficiënten waarmee de beschikbaarheid van de elementen zink, cadmium en lood berekend kunnen worden uit organische stof, pH en het metaalgehalte in de bodem.



Figuur 3.2 Vergelijking tussen berekende (X) en gemeten (Y) gehalten aan Cd, Zn, en Pb in het 0.01 M CaCl₂ extract

Tabel 3.4 Coëfficiënten voor de berekening van de beschikbare hoeveelheid aan zink, cadmium en lood

	Intercept	α (0.43 N HNO ₃)	β (pH 0.01 M CaCl ₂)	γ (% Org Stof)	R ²
Cd	2.69	1.24	-0.66	-0.75	0.99
Zn	2.42	0.98	-0.63	-0.19	0.98
Pb	5.28	1.04	-1.87	ns	0.88

De hoeveelheid beschikbaar metaal is dan:

$$^{10}\text{Log}(\text{Metaal}_{\text{beschikbaar}}) = \text{Intercept} + \alpha \cdot ^{10}\text{log}(0.43 \text{ HNO}_3) + \beta \cdot \text{pH}_{\text{CaCl}_2} + \gamma \cdot ^{10}\text{log}(\text{Org. Stof}) \quad [1]$$

Uit de gevonden relaties blijkt dat de hoeveelheid beschikbaar metaal vrijwel linear stijgt met de hoeveelheid in de vaste fase (coëfficiënten zijn ongeveer 1).

Doel van de meting van de beschikbaarheid was om te verifiëren of er een relatie bestaat tussen de beschikbaarheid en de opname door gewassen. Indien een dergelijk verband bestaat kunnen in de toekomst op basis van bodemeigenschappen de risico's voor normoverschrijding vastgesteld worden. Dit wordt in paragraaf 3.3 verder uitgewerkt.

3.3 Verband tussen bodem- en gewaskwaliteit in de onderzochte percelen

In een eerder onderzoek is een verband tussen bodem- en gewaskwaliteit voor veevoer aangetoond (Rietra et al., 2004). Uit de metingen die in fase 1 zijn verricht kon echter voor cadmium geen verband gevonden worden, noch op basis van CaCl_2 extracten noch op basis van de bodemeigenschappen. Voor zink werd een dergelijk verband wel gevonden: op basis van pH en de hoeveelheid extraheerbaar in CaCl_2 kan 83% van de gemeten variatie in de gehalten aan Zink in het gewas verklaard worden. Ook kan de variatie in de gewasgehalten goed verklaard worden uit een combinatie van bodem eigenschappen:

$$^{10}\log(\text{Zn-gras}) = 2.13 - 0.26 \cdot ^{10}\log(\text{Org.Stof}) - 0.14 \cdot \text{pH}_{\text{CaCl}_2} + 0.44 \cdot ^{10}\log(\text{Zn-bodem}) \quad R^2 = 0.87 \quad [2]$$

Waarbij Zn-bodem het gehalte in 0.43 N HNO_3 is. De invloed van pH en het zinkgehalte in de bodem zijn daarbij van belang, de bijdrage van organische stof is gering (R^2 met alleen pH en Zink-bodem als verklarende variabelen is 0.84). Ook op basis van het CaCl_2 extraheerbare Zink in combinatie met pH wordt het zink gehalte goed voorspeld:

$$^{10}\log(\text{Zn-gras}) = 0.97 + 0.14 \cdot \text{pH}_{\text{CaCl}_2} + 0.38 \cdot ^{10}\log(\text{Zn}_{\text{CaCl}_2}) \quad R^2 = 0.83 \quad [3]$$

Opvallend is echter dat in tegenstelling tot zink, de gehalten aan cadmium in het gewas niet voorspeld kunnen worden op basis van bodemgegevens. Deze bevinding wijkt af van eerder uitgevoerd onderzoek. Ook is er normaal sprake van een duidelijk verband tussen de zinkgehalten en de cadmiumgehalten in gewassen van 1 plek. In dit onderzoek is dit niet het geval. De hoge gehalten aan cadmium in het gewas en de variatie in de gemeten gehalten zijn daarom op grond van dit onderzoek niet eenvoudig te verklaren.

Het nut van dergelijke relaties is dat hiermee de grenswaarde in de bodem berekend kan worden waarboven verwacht kan worden dat het gewas niet meer aan de veevoeder norm voldoet. Wanneer voor zink een norm van 250 mg kg^{-1} genomen wordt dan kan bij verschillende organische stof waarden en pH een kritisch zink gehalte berekend worden waarboven het gewas meer dan 250 mg kg^{-1} kan bevatten. In onderstaande tabel is te zien hoe bij een organisch stofgehalte variërend van 5 tot 20% en een pH van 4.5 tot 7 het kritisch gehalte van zink in de bodem varieert.

Tabel 3.5 Overzicht van kritische gehalten aan zink in de bodem in afhankelijkheid van organische stof en pH

		pH			
		4.5	5.5	6.5	7.5
Org. Stof (%)	5	284	592	1231	2561
	10	428	891	1854	3857
	15	544	1132	2356	4901
	20	645	1342	2792	5809

Uit dit overzicht blijkt dat bij de aangetroffen gehalten in de Malpiebeemden (115 – 1992 mg kg⁻¹) de norm voor zink bij pH waarden tussen 4.5 en 6 overschreden kan worden. Op locatie I-1 en I-2 werden ook waarden voor zink in gras van meer dan 250 mg kg⁻¹ aangetroffen. De norm voor zink is echter niet gebaseerd op totaalgehalten in het gewas maar op totaal toegevoegd zink in voer. Aangezien de beschikbaarheid voor het dier van toegevoegd zink groter is dan dat in voer, zijn de hier geconstateerde normoverschrijdingen voor zink niet ernstig.

In het onderzoek in fase II is geen meting van de beschikbaarheid gedaan, maar kon op basis van de metingen in de bodem wel een relatie afgeleid worden.

Uit de data die in de aanvullende bemonstering (fase II) zijn verkregen, blijkt wel een verband tussen bodem- en gewaskwaliteit (en bodemparameters als pH, klei en organische stof). Ook nu is de invloed van pH en het metaalgehalte belangrijker dan die van organische stof en klei.

In tabel 3.6 staan de resultaten van de regressieanalyse. Voor cadmium zijn de resultaten uit de eerste bemonstering niet meegenomen (geen verband tussen bodem en gewas). In alle gevallen zijn de data voor pitrus niet meegenomen, dit is namelijk een geheel ander type gewas dan gras en kruiden en de relatie tussen bodem en gewas is daarom ook niet dezelfde. Voor zink is zowel een relatie op basis van de data uit het aanvullende onderzoek afgeleid als een voor alle data (incl. eerste bemonstering). Er zijn een tweetal oorzaken waardoor dit niet dezelfde relatie oplevert:

1. In het aanvullende onderzoek is het metaalgehalte van de bodem met Aqua Regia bepaald terwijl dit in de eerste bemonstering met verdund salpeter zuur is gemeten. Voor zink is echter al eerder vastgesteld dat de hoeveelheid extraheerbaar met verdund salpeterzuur lager is dan met Aqua Regia (Römkens et al., 2004). Deze verschillen (die hier dus niet zijn meegenomen) beïnvloeden de regressieresultaten.
2. Het organische stofgehalte in de eerste bemonstering wijkt sterk af van die in de tweede aanvullende bemonstering. Het is nu niet meer te achterhalen waar deze verschillen vandaan komen en of dit aan de verschillen in de gevolgde methoden ligt of het gevolg is van de variatie aan organische stof in de onderzochte velden.

De grasgehalten kunnen als volgt afgeleid worden met behulp van de coëfficiënten uit tabel 3.6:

$$^{10}\log(\text{Cd}_{\text{gras}} \text{ Zn}_{\text{gras}}) = \text{INT} + \alpha \cdot ^{10}\log(\text{Cd} \text{ Zn}_{\text{bodem}}) + \beta \cdot \text{pH}_{\text{CaCl}_2} + \gamma \cdot ^{10}\log(\text{klei}) + \delta \cdot ^{10}\log(\text{Org.Stof}) \quad [4]$$

Tabel 3.6. Overzicht van de coëfficiënten van de regressievergelijking voor het verband tussen bodemeigenschappen en gewas.

	Coëfficiënten van de regressievergelijking					R ²
	Cd (α)	pH (β)	klei (γ)	OS (δ)	INT	
Cd-gras (ex Pitrus)	1.16	-0.64	-0.35	-1.47	4.42	0.77
Zn-gras (ex Pitrus)	0.89	-0.39	-0.60	-1.31	4.01	0.70
Zn-gras (ex Pitrus incl data uit fase 1)	0.68	-0.21	-0.31	-0.95	3.00	0.68

Zoals uit tabel 3.6 blijkt bestaat er nu wel een goed verband tussen bodemeigenschappen en gras, zowel voor zink maar ook voor cadmium. Waarom dit verband voor cadmium in het eerste onderzoek niet is gevonden is niet duidelijk.

Het afleiden van kritische waarden waarboven de cadmiumnorm in het gras overschreden wordt, is in dit geval niet zo zinvol omdat de gewasnorm in alle monsters overschreden werd (alle metingen in het gewas liggen boven de 1.1 mg kg^{-1} ds). Voor de Malpiebeemden geldt dus dat de bodemkwaliteit in het hele dal onvoldoende is om aan de norm voor veevoer te voldoen. Anders dan voor zink is de norm voor cadmium wel geldend voor gewassen (en dus niet alleen na toevoegingen aan veevoer). Wel is het zo (zie ook de inleiding) dat deze gewasnorm is afgeleid voor het beschermen van de productkwaliteit (in dit geval nieren en levers). Voor effecten op diergezondheid wordt een aparte analyse uitgevoerd, zie paragraaf 3.4

3.4 Berekening van de blootstelling voor runderen als gevolg van inname van grond, gewas en water

Om de effecten van in de bodem en gras aanwezige metalen op de gezondheid van vee te kunnen inschatten zijn in het verleden blootstellingsmodellen ontwikkeld. Dit zijn vaak relatief eenvoudige vergelijkingen waarmee de dagelijkse inname (DI, daily intake) berekend wordt. Deze inname, de som van grondingestie, voer en water, wordt vervolgens vergeleken met een maximale acceptabele inname, de zgn. ADI (Acceptable Daily Intake, in $\text{mg metaal per kilogram lichaamsgewicht per dag}$). Wanneer de DI de ADI overschrijdt is er sprake van een ontoelaatbare blootstelling. De ADI is een waarde afgeleid uit experimenten waarbij de inname van cadmium varieerde (zie Ma et al., 2001). Voor koeien wordt daarbij de waarde van $0.09 \text{ mg kg}^{-1} \text{ lg dag}^{-1}$ aangehouden.

De DI wordt berekend als:

$$DI = M_{\text{voer}} \cdot Q_{\text{voer}} + V_{\text{water}} \cdot C_{\text{water}} + M_{\text{bodem}} \cdot Q_{\text{bodem}} \quad [5]$$

Waarbij M de hoeveelheid voer of grond is die een koe eet (in kg dag^{-1}), Q het gehalte is in voer of in grond (in mg kg^{-1} op droge stof basis), V de hoeveelheid water die een koe drinkt (in L) en C de concentratie in het water (in mg L^{-1}).

Voor een volwassen koe gelden daarbij de volgende standaard waarden voor M en V (Ma et al., 2001):

M_{grond} :	0.6 kg dag^{-1}
M_{voer} :	15 kg dag^{-1}
V_{water} :	47.5 L dag^{-1}
Gewicht koe:	700 kilo

Met behulp van de gemeten waarden voor Q in grond en voer (de data aan cadmium in bodem en gewas) kan de DI berekend worden. Voor de concentratie aan cadmium in het water is daarbij gerekend met een relatief hoge waarde van $10 \mu\text{g L}^{-1}$. Voor het bovenste grondwater in de Kempen is dat echter niet extreem. Uit de berekeningen zal bovendien blijken dat de bijdrage van het water klein is tov die van grond en gewas.

Uiteindelijk kan de mate van blootstelling bepaald worden door de DI te delen door het gewicht en de ADI. Als dat getal groter is dan 1 dan is er sprake van ontoelaatbare blootstelling ($\text{DI} > \text{ADI}$)

Voor elke locatie in het onderzoek (fase 1 en 2) is vervolgens de DI berekend evenals de ratio tussen DI en ADI. In tabel 3.7 staat het gemiddelde van de ratio tussen ADI en DI (1 is grenswaarde), evenals de bijdrage uit de verschillende bronnen (grond, water en voer)

Tabel 3.7 Mate van blootstelling van koeien en bijdrage van grond, water en voer aan blootstelling

Ligging	DI/ADI	Bijdrage uit verschillende bron (%)		
	gemiddelde	Grond	Water	Gewas
Laag gelegen percelen (fase I)	1.5 ± 0.6	24.9	0.6	74.5
laag gelegen percelen (fase II)	3.5 ± 2.7	16.1	0.7	83.2
Hoge plekken in laag gelegen percelen (fase II)	2.1 ± 1.2	13.5	0.5	86.0
Aan de rand van het dal gelegen percelen (fase II)	0.2 ± 0.1	7.3	4.6	88.1

Conclusies van deze analyse zijn:

1. De blootstelling in de lagere delen van de Malpiebeemden overschrijdt de acceptabele blootstelling ($\text{DI/ADI} > 1$). Risico's voor de gezondheid van de grote grazers (koeien) zijn daarmee niet uit te sluiten. De kwaliteit van de hogere delen is wel acceptabel ($\text{DI/ADI} < 1$). Daarbij moet wel gezegd worden dat er hier van is uitgegaan dat het hele voedselpakket van de koe uit gras van deze kwaliteit bestaat. In werkelijkheid zal de inname via voer lager zijn omdat het vee ook ander voer krijgt.
2. De inname via gewas is in alle gevallen de belangrijkste blootstellingsroute, met andere woorden de hoeveelheid cadmium die koeien binnen krijgen komt via het gewas. Uiteraard is er variatie tussen de verschillende plekken. Zo is de bijdrage via inname van grond in de meest vervuilde plek uit fase 1 68% (maar die plek heeft dan ook een extreem cadmium gehalte van 123 mg kg^{-1}), in fase 2 locaties is dat 39%.
3. De bijdrage via de inname via water aan de totale inname is in alle gevallen laag. Bij een geschatte concentratie van $10 \mu\text{g L}^{-1}$ is de bijdrage in de locaties in het dal minder dan 1% van het totaal. Alleen in de hoger gelegen locaties (waar de gehalten in het voer en de grond lager zijn) loopt de relatieve bijdrage van water op de totale inname op. Bij de beoordeling van het belang van de inname via water moet wel bedacht worden dat de opname door vee van metalen uit voer dan wel uit water anders kan zijn. Op dit moment is de aanname dat de opname vanuit water, voer en grond hetzelfde is, het is

echter waarschijnlijker dat de opname (= beschikbaarheid) van cadmium door de koe uit het water procentueel hoger is dan die uit voer. Of de inname van water daarmee significant bijdraagt aan de opname in de nier valt uit de resultaten van dit onderzoek niet te achterhalen. Daarvoor zou specifiek naar de beschikbaarheid van cadmium in verschillende media (gewas, grond en water) gekeken moeten worden.

Ook uit deze analyse blijkt dus dat de kwaliteit van grond en gras onvoldoende is voor het laten grazen van vee.

4 Discussie en Conclusies

Het gras van de 13 onderzochte locaties in fase 1 en 2 is niet geschikt als veevoer omdat de cadmium- en, in mindere mate, zinkgehalten in het gras veel te hoog zijn. Vooral het cadmiumgehalte overschrijdt in bijna alle monsters de veevoedernorm.

De gehalten aan andere zware metalen zijn acceptabel (oa lood en arseen). Als gevolg van de grote verschillen in bodemtype en de veel hogere gewasgehalten kon de bodem-gewasrelatie uit voorgaand onderzoek (Rietra et al., 2004) niet gebruikt worden (hier in dit rapport verder niet geïllustreerd). Bovendien bleek uit de data uit fase 1 voor cadmium dat er geen verband bestond tussen bodem- en graskwaliteit.

In fase 2 werd een dergelijk verband tussen bodem en gras wel aangetroffen maar omdat alle waarnemingen *boven* de norm lagen, was het toepassen van een dergelijk verband niet zo zinvol (normaal kan een dergelijk verband gebruikt worden om die locaties te selecteren waar de gehalten lager (of hoger) dan de norm zullen zijn).

Voor zink bestaat er wel een duidelijk verband tussen de bodemkwaliteit (samenstelling en metaalgehalte) enerzijds en de graskwaliteit anderzijds.

Algemene Conclusies en Aanbevelingen

- De bodem- en graskwaliteit in de graslanden langs de Dommel in de Malpiebeemden is extreem slecht wat betreft de gehalten aan cadmium. Voor gras worden veevoedernormen in zeer ruime mate overschreden.
- Het verdient dan ook aanbeveling om dit gras *niet als veevoer* te gebruiken. Ook het permanent laten grazen van grootvee in de graslanden langs de beek wordt afgeraden op basis van de overschrijding van de veevoedernorm.
- De hoger gelegen graslanden die zich buiten de directe invloed van de rivier bevinden zijn wel van voldoende kwaliteit voor begrazing mits de pH van de bodem op waarden hoger dan 5 a 5.5 wordt gebracht dan wel gehouden. Dit is conform een eerder verstrekt advies voor de Kempen.
- Kleine verschillen in terreinhoogte beïnvloeden de kwaliteit van het gras. De cadmiumgehalten in het gras van de laag gelegen percelen varieert afhankelijk van de hoogte. Of dit komt doordat deze graslanden minder vaak overstroomd worden (werden) kan uit dit onderzoek niet afgeleid worden. Wel is er ook een verband aangetoond tussen het organische stof gehalte en het cadmiumgehalte. Of de hoeveelheid organische stof door sedimentatie beïnvloed wordt, kan op basis van de data niet vastgesteld worden. Ook de mogelijke bijdrage via kwel is in dit onderzoek niet aan de orde geweest.

Nader onderzoek van diepere lagen in het bodemprofiel kan uitsluitsel geven over deze bijdrage.

- Het realiseren van bepaalde natuurdoeltypen door begrazing is in overstroomde graslanden langs de Dommel in en nabij de Malpiebeemden een risico voor de gezondheid van het grootvee. Minder bekend is of de “natuurlijke” begrazers als reëen, hazen, konijnen etc. een gezondheidsrisico lopen.
- Bij het inrichten van het gebied zal, als gevolg van deze verontreiniging, naar alternatieven gezocht moeten worden om negatieve effecten (opname van Cd door vee, accumulatie in nier en lever en daaruit voortkomende schade) te voorkomen.
- Het combineren van data uit twee verschillend uitgevoerde onderzoeken leidde bij de interpretatie van data tot onduidelijkheid. De grote ruimtelijke variatie in een beekdal is daaraan debet. Inzicht van de geomorfologische processen zijn belangrijk voor de keuze van het type bemonstering.
- Om sedimentatie in de toekomst tegen te gaan en daarmee een verdere aanvoer van metalen te reduceren lijkt het installeren van zandvangs effectief. De zandvang in de Dommel ten zuiden van Eindhoven blijkt zeer effectief. In de overstromingsgraslanden de Dommelbeemden bij St. Oederode zijn lage metaalgehalten aangetroffen in bodem (Runhaar en Jansen 2004).

Literatuur

Mennes, W.C. en M.J. Winkler, 1992. Grote grazers, zware metalen en heideterreinen. Wetenschapswinkel Biologie.

Ma, W.C., A.T.C. Bosveld en D.B. van den Brink. 2001. Schotse hooglanders in de Broekpolder? Analyse van de veterinaire-toxicologische risico's van de verontreinigde bodem voor grote grazers. Alterra rapport 260, Alterra, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römkens, J. Japenga, 2004. Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen; onderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. Alterra-rapport 974, Alterra, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römkens & J. Japenga. 2005a. Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2004; vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. Alterra rapport 1167, Alterra, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römkens, en F.P. Sival. 2005b. Cadmium in bodem en gewas op zes graslandlocaties in het natuurgebied de Malpiebeemden. Briefrapport, Alterra, Wageningen (op aanvraag verkrijgbaar bij de auteur)

Römkens, P.F.A.M., J.E. Groenenberg, L.T.C. Bonten, W. de Vries, and J. Bril. 2004. Derivation of partition relationships to calculate Cd, Cu, Ni, Pb and Zn solubility and activity in soil solutions. Alterra report 305, Alterra, Wageningen, the Netherlands

Rosenberger, G., G. Dirksen, and H.D. Gruener. Krankheiten des Rindes. Parey Publ. Berlin, Germany.

Runhaar, J., en P.C. Jansen 2004 Overstroming en vegetatie; vergelijkend onderzoek in vijf beekdallocalaties. Alterra rapport 1079, Alterra, Wageningen.

Stoop, J.M., en A.J.M. Rennen. 1991. Schadelijke stoffen voor land- en tuinbouw. Cadmium. Centrum voor landbouw en milieu (CLM), Utrecht.

Bijlage 1 Overzicht van Analyse resultaten van de eerste en tweede bemonstering in de Malpiebeemden

Tabel 1 Beschrijving van de locaties.

Onder- zoek	Locatie	Ligging	gewas	X	Y	beheer	Vee aanwezig	SBB-code
I	1	Laag	Gras	159724	369256	maaien		5c
I	2	Laag	Gras	159643	369176	begrazing met	Koeien	11c1
I	3	Laag	gras	159605	368080	maaien		4b
I	4	Laag	gras	159173	367597	maaien		3e
I	5	Laag	gras	158705	366269	begrazing met	Koeien	1b1
I	6	Laag	gras	158600	366282	begrazing met	Koeien	1a1
II	1	Laag	gras	-	-	-	-	-
II	2	Laag	gras	-	-	-	-	-
II	3	Laag	gras	-	-	-	-	-
II	4	Hoog	gras	-	-	-	-	-
II	5	Hoog	gras	-	-	-	-	-
II	6	Hoog	gras	-	-	-	-	-
II	7	Hoog	gras	-	-	-	-	-

Tabel 2 Overzicht van bodemanalyses: zware metaalgehalten m.b.v. calciumchloride extractie.

Onder- zoek	locatie	duplo	pH	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
I	1	A	5	0.09	8.57	0.01	0.12	1.01	0.03	132
I	1	B	5.0	0.08	9.42	0.01	0.13	1.11	0.03	155
I	2	A	4.5	0.23	3.92	0.03	0.06	1.27	0.21	138
I	2	B	4.5	0.19	5.16	0.03	0.06	1.19	0.2	121
I	3	A	4.6	0.26	1.71	0.01	0.04	0.54	0.25	61
I	3	B	4.6	0.23	2.28	0.01	0.08	0.54	0.28	65
I	4	A	4.9	0.03	0.34	0	0.02	0.17	0.01	14
I	4	B	4.9	0.02	0.32	0	0.03	0.16	0	13
I	5	A	4.3	0.04	3.92	0.01	0.05	0.68	0.18	77
I	5	B	4.3	0.06	4.65	0.01	0.07	0.69	0.24	83
I	6	A	4.7	0.37	2.32	0.02	0.07	0.42	0.12	63
I	6	B	4.6	0.13	4.15	0.03	0.07	0.55	0.18	84
II	1	1	5.6	-	-	-	-	-	-	-
II	1	2	5.1	-	-	-	-	-	-	-
II	2	1	5.3	-	-	-	-	-	-	-
II	2	2	5.7	-	-	-	-	-	-	-
II	3	1	5.5	-	-	-	-	-	-	-
II	3	2	5.7	-	-	-	-	-	-	-
II	4	1	4.9	-	-	-	-	-	-	-
II	4	2	5	-	-	-	-	-	-	-
II	5	1	6.1	-	-	-	-	-	-	-
II	5	2	5.6	-	-	-	-	-	-	-
II	6	1	4.8	-	-	-	-	-	-	-
II	6	2	4.7	-	-	-	-	-	-	-
II	7	1	5.1	-	-	-	-	-	-	-
II	7	2	5.5	-	-	-	-	-	-	-
II	1 hoog	1	6.4	-	-	-	-	-	-	-
II	1 hoog	2	6.2	-	-	-	-	-	-	-
II	2 hoog	1	5.5	-	-	-	-	-	-	-
II	2 hoog	2	6	-	-	-	-	-	-	-
II	3 hoog	1	6.4	-	-	-	-	-	-	-
II	3 hoog	2	6.1	-	-	-	-	-	-	-
II	3 pitrus	1	6.4	-	-	-	-	-	-	-
II	3 pitrus	2	6.1	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 3 Overzicht van bodemanalyses: zware metaalgehalten bodem m.b.v. HNO₃ extractie, organisch stofgehalte en gehalte lutum.

Onder- zoek	locatie	duplo	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Org.stof %	lutum %
I	1	a	73	99	7	69	20	398	1337	16.9	12.8
I	1	b	77	123	8	79	26	472	1992	19.6	6.8
I	2	a	103	47	3	39	22	217	863	29.3	15.1
I	2	b	114	46	3	36	18	210	671	23.6	6
I	3	a	56	15	2	15	7	156	297	15.3	13.3
I	3	b	70	22	3	20	10	184	360	20.4	7.5
I	4	a	18	5	3	10	4	31	115	9.8	11.5
I	4	b	17	5	3	9	4	31	115	8.7	9.6
I	5	a	60	19	3	16	7	157	284	13.4	6.7
I	5	b	91	24	3	19	9	187	336	15	9.3
I	6	a	138	29	4	19	10	201	498	26	7.1
I	6	b	163	40	5	27	12	338	594	23.7	13
II	1	1	-	94	-	-	-	270	1300	8	20
II	1	2	-	77	-	-	-	260	1200	11.5	11
II	2	1	-	65	-	-	-	150	1000	11.1	16
II	2	2	-	24	-	-	-	48	460	5.9	16
II	3	1	-	8.1	-	-	-	69	180	10.4	5.5
II	3	2	-	11	-	-	-	83	280	10.6	5.7
II	4	1	-	<0.4	-	-	-	18	<20	2.1	<1
II	4	2	-	<0.4	-	-	-	21	<20	2	<1
II	5	1	-	1	-	-	-	18	48	6.3	3.4
II	5	2	-	0.9	-	-	-	18	55	5.7	2
II	6	1	-	1.9	-	-	-	42	59	8.2	2.6
II	6	2	-	1.9	-	-	-	53	70	8.3	4.7
II	7	1	-	1.2	-	-	-	38	57	5.5	3.1
II	7	2	-	2.1	-	-	-	48	96	5.8	2.9
II	1 hoog	1	-	22	-	-	-	140	410	4.6	3.6
II	1 hoog	2	-	21	-	-	-	130	390	3.6	2.4
II	2 hoog	1	-	20	-	-	-	180	400	7.3	3.9
II	2 hoog	2	-	52	-	-	-	310	840	8.6	7.5
II	3 hoog	1	-	18	-	-	-	100	300	5.5	3.1
II	3 hoog	2	-	14	-	-	-	86	230	5.5	3.7
II	3 pitrus	1	-	18	-	-	-	100	300	5.5	3.1
II	3 pitrus	2	-	14	-	-	-	86	230	5.5	3.7

Tabel 4 Volledig overzicht gewasanalyses: zware metaal gehalten gewas m.b.v. magnetrondestructie HNO₃/HF/H₂O₂. Normoverschrijdingen zijn vet weergegeven.

Onder- zoek	locatie	duplo	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	type monster
I	1	a	1.33	3	0.72	4	3.3	1.1	359	-
I	1	b	1.26	2.2	0.74	5	2.7	1.5	297	-
I	2	a	0.54	6.7	0.54	5	1.6	1	266	-
I	2	b	0.73	10.9	0.54	6	1.7	1.4	255	-
I	3	a	0.34	4.9	0.54	6	1.2	0.5	168	-
I	3	b	0.34	3.7	0.53	7	1.2	0.5	156	-
I	4	a	0.36	5.7	0.67	13	1.2	0.4	128	-
I	4	b	0.25	4.3	0.34	12	0.8	0.3	129	-
I	5	a	0.67	4.4	0.6	9	2.3	1.3	242	-
I	5	b	0.45	3.4	0.52	9	2.1	1	190	-
I	6	a	0.94	3.4	0.6	8	1.3	1.5	214	-
I	6	b	0.96	2.6	0.57	11	1.5	1.2	231	-
II	1	1	-	22	-	-	-	< 13	410	gras mix
II	1	2	-	26	-	-	-	15	420	gras mix
II	2	1	-	9.2	-	-	-	< 13	220	pitrus
II	2	2	-	17	-	-	-	< 13	250	pitrus
II	3	1	-	3.1	-	-	-	< 13	200	gras mix
II	3	2	-	0.8	-	-	-	< 13	93	gras mix
II	4	1	-	0.6	-	-	-	< 13	220	gras mix
II	4	2	-	0.8	-	-	-	< 13	230	gras mix
II	5	1	-	0.8	-	-	-	< 13	150	gras mix
II	5	2	-	0.9	-	-	-	< 13	160	gras mix
II	6	1	-	1.4	-	-	-	< 13	250	gras mix
II	6	2	-	1.1	-	-	-	< 13	160	gras mix
II	7	1	-	0.4	-	-	-	< 13	200	gras mix
II	7	2	-	0.2	-	-	-	< 13	150	gras mix
II	1 hoog	1	-	14	-	-	-	< 13	760	gras mix
II	1 hoog	2	-	6.9	-	-	-	< 13	710	gras mix
II	2 hoog	1	-	13	-	-	-	< 13	640	gras mix
II	2 hoog	2	-	7.9	-	-	-	< 13	390	gras mix
II	3 hoog	1	-	3.5	-	-	-	< 13	210	gras mix
II	3 hoog	2	-	2.1	-	-	-	< 13	150	gras mix
II	3 pitrus	1	-	23	-	-	-	< 13	260	pitrus
II	3 pitrus	2	-	27	-	-	-	< 13	510	pitrus

Veevoedernorm:

Cd 1 mg kg⁻¹ (herleid tot 12 % vocht), oftewel 1.1 mg Cd kg⁻¹ op basis van droge stof.
Pb 10 mg kg⁻¹ (herleid 12 % vocht), oftewel 11 mg Pb kg⁻¹ op basis van droge stof.

Maximaal Zn gehalte in het voer na toevoeging bij diervoeders: 150 mg Zn.kg⁻¹.
Bij gehalten van boven de 100 mg Zn.kg⁻¹ in gras kan zink fytotoxisch zijn voor gras.